УДК 631.333.5

В.А. ЧЕРНОВОЛОВ, Т.М. УЖАХОВ, Т.М. ЛЯШЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Выполнено исследование динамических свойств центробежных аппаратов для распределения минеральных удобрений по поверхности поля применительно к обоснованию допусков на колебания параметров процесса. По допускаемой неравномерности распределения удобрений по полю рекомендуется вычислять допуски на равномерность подачи удобрений на распределяющий аппарат, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение угла бросания и дальностей метания. Вероятностная модель системы представлена последовательным соединением звена постоянного запаздывания и двух апериодических звеньев. Численным моделированием определены характеристики звеньев.

***Ключевые слова**: аппарат центробежный, удобрения минеральные, рассев, равномерность, переходная характеристика, передаточная функция.*

Введение. Функционирование сельскохозяйственных машин происходит в условиях непрерывно изменяющихся внешних условий. Влияние различных факторов, главным образом случайных в вероятностно-статистическом смысле, сказывается на показателях технологического процесса распределения удобрений. Известно, что неравномерное внесение удобрений приводит к снижению их эффективности. Снижение прибавки урожая и ухудшение его качества происходит за счет нелинейности функции урожая от дозы внесения удобрений и полегания растений на площадках с повышенными дозами внесения. Неодновременное созревание растений на площадках с различной дозой внесения удобрений приводит к ухудшению качества урожая и увеличению потерь при уборке.

Постановка задачи. Равномерность подачи удобрений на распределяющий аппарат зависит от свойств удобрений, частоты вращения дозирующих органов либо от скорости и шага планок подающего транспортера. Частота вращения распределяющего диска влияет на дальность метания частиц удобрений и закономерность их распределения вдоль радиусов зоны рассева. Неравномерность вращения распределяющих дисков приводит к повышению неравномерности распределения удобрений по полю.

Изменение фрикционных свойств удобрений приводит к нарушению симметричности распределения относительно линии движения машины и, как следствие, снижению равномерности рассева.

Цель исследования – получить модели для исследования влияния условий функционирования на равномерность рассева удобрений по полю и для обоснования допусков на колебания параметров процесса.

Методика исследований. Процесс распределения удобрений рассмотрен при следующих исходных допущениях и условиях: распределение удобрений на выходе из аппарата задано функцией плотности угла бросания $f(\alpha)$; средние скорости метания частиц и средние коэффициенты парусности не коррелированы с углом бросания α; дальность метания частиц ρ является случайной величиной с известной функцией плотности вероятностей $f(\rho)$; диаметр диска по сравнению с размерами зоны рассева считается малой величиной.

Понятие «доза внесения удобрений» применяем к бесконечно малым площадкам так, что доза q_F определяется соотношением:

$$q_F = \lim_{\Delta F = 0} \frac{\Delta q}{\Delta F}, \qquad (1)$$

где Δq – масса удобрений, внесенных на площадку; ΔF – площадь выделенной площадки.

Площадь, засеваемую аппаратом при отсутствии перемещения машины, т.е. при $V_м = 0$, называем зоной рассева [1,2]. При выполнении перечисленных ранее условий линии равной интенсивности в зоне рассева имеют почковидную форму (рис.1). Аппарат находится в начале координат и выбрасывает удобрения в радиальных направлениях. Выделим в зоне рассева площадку dF, ограниченную двумя радиусами, образующими угол $d\alpha$, и двумя окружностями с радиусами ρ и $\rho + d\rho$. Угол α отсчитываем от линии движения машины, угол β – от поперечной оси координат.

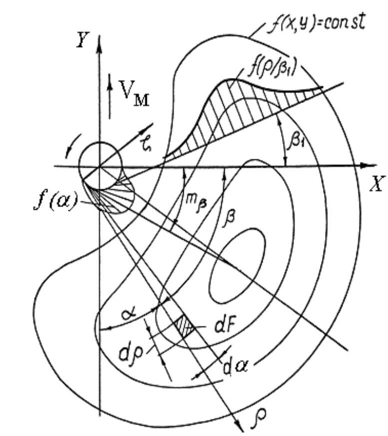


Рис.1. Схема определения дозы внесения удобрений горизонтальным аппаратом

Вероятность попадания удобрений на площадку dF определяем как вероятность совмещения двух событий: попадания значения угла бросания в интервал $d\alpha$ и попадания дальности в интервал $d\rho$. Так как дальность метания некоррелирована с углом α, то элемент вероятности $d\rho$ определяем по формуле умножения вероятностей:

$$dP = f(\alpha)\, d\alpha\, f(\rho)\, d\rho. \qquad (2)$$

Интенсивностью засева площадки называем предел отношения расхода удобрений dQ, приходящегося на площадку, к ее площади dF, при $dF \to 0$, т.е.

$$I = \lim_{dF \to 0} \frac{dQ}{dF}. \qquad (3)$$

Расход dQ определяем умножением общего расхода Q на элемент вероятности dP. Тогда, учитывая, что $dF = \rho\, d\rho\, d\alpha$,

$$I = \frac{Q \cdot f(\alpha) \cdot f(\rho)}{\rho}. \qquad (4)$$

При движении машины со скоростью $V_м$ зона рассева перемещается с такой же скоростью относительно неподвижной площадки dF. В этом случае интенсивность внесения удобрений на площадке будет переменной. На рис.1 изображены линии уровней интенсивности $I = const$. В центре зоны рассева интенсивность максимальна, а на ее краях – минимальна.

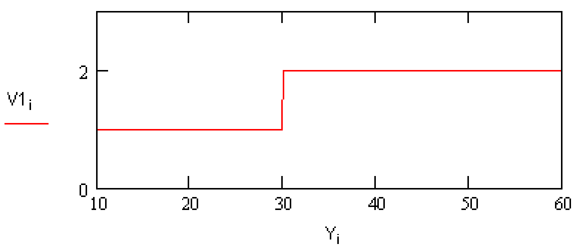
Доза внесения q_F на неподвижной площадке d_F после прохода разбрасывателя определяется интегрированием:

$$q_F = \int_0^{t_1} I dt, \qquad (5)$$

где t_1 – время внесения удобрений на площадке.

Для исследования динамических свойств аппарата необходимо вычислить дозы внесения удобрений на площадках, расположенных вдоль оси Y на равных расстояниях. Интегрирование необходимо выполнять в ре-

жиме единого времени. Единичный скачок фактора задается в едином времени так, чтобы некоторые из площадок полностью засевались до скачка, некоторые в переходном режиме и остальные в новом установившемся режиме. В едином времени задаются пределы интегрирования. Исследование выполнено в системе компьютерной математики (рис.2).



Обозначения величин:
Qa – подача удобрений на аппарат, кг/с;
Vm – скорость машины, м/с;
Mα - математическое ожидание угла бросания, рад;
σα - среднее квадратическое отклонение угла бросания, рад;
Mρ - математическое ожидание дальности метания, м;
σρ - среднее квадратическое отклонение дальности метания, м;
Q (Mα, σα, Mρ, σρ, X, YX) – функция дозы внесения удобрений от координат площадки X, Y и параметров зоны рассева.
Моделирование скачка расхода Qa
$i:=0…200$ $Y_i:=i\cdot 0{,}25+10$ $Y_S:=30$ $Q_0:=1$ $\Delta:=1$

$$Q1(Y):= \left| \begin{array}{l} Q_0 \text{ if } Y<Y_S \\ ((Q_0+\Delta)) \text{ if } Y\geq Y_S \end{array} \right. \qquad V1_i:=Q1(Y_i)$$

Рис.2. Моделирование скачка подачи удобрений

Графическое изображение реакции системы на единичное ступенчатое воздействие называется переходной характеристикой. Аналитическое выражение *h(t)* переходной характеристики называется переходной функцией. Переходную характеристику (рис.3) получали решением уравнений (1)-(5), описывающих работу аппарата, и аппроксимированием переходных характеристик. Для аппроксимирования переходных характеристик S-образного вида использовали выражение:

$$h(t, T) := 1 - \exp\left(\frac{-t}{T}\right) \cdot \sum_{\lambda = 1} \frac{\lambda}{\lambda!}\left(\frac{t}{T}\right)^{\lambda}, \qquad (6)$$

где *T* и *m* – коэффициенты аппроксимации.

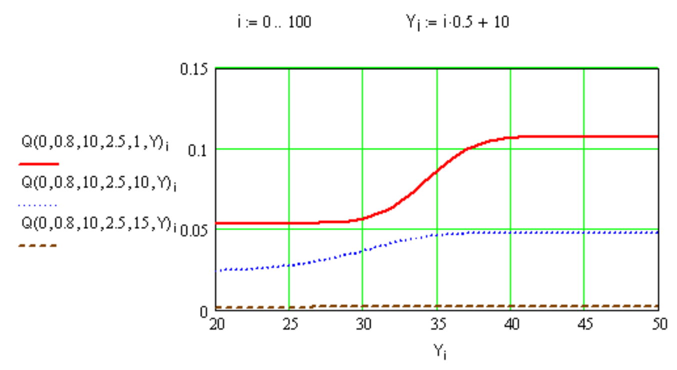


Рис.3. Графики переходных процессов дозы при скачке подачи (X= 1; 10 и 15)

Продолжительность переходного процесса определяется размерами зоны рассева и скоростью движения машины.

Переходные процессы изменения дозы внесения удобрений на линиях (рис.4), параллельных направлению движения агрегата, пересчитывали в переходные характеристики путем вычитания от текущих значений дозы ее значения до начала переходного процесса и деления разности ординат дозы на величину скачка входного фактора.

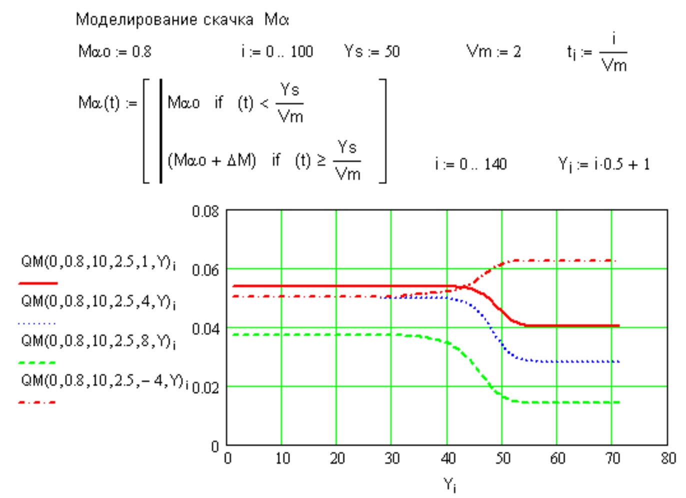


Рис.4. Графики переходных процессов дозы
при скачке математического ожидания угла бросания (X=1; 4; 8 и - 4 м)

Результаты моделирования. Оценка точности аппроксимации показала, что при *m*=1 начало переходного процесса аппроксимируется плохо. При *m*=2 вся кривая аппроксимируется удовлетворительно.

Модель системы при *m*=2 представляется последовательным соединением звена постоянного запаздывания и двух апериодических звеньев.

Значения коэффициентов передачи *k*, постоянной времени *T* и времени запаздывания τ_0 приведены в табл.1-3.

При скачке подачи положение и размеры зоны рассева не изменяются, поэтому переходные процессы одинаковы в сечениях, равноотстоящих от линии движения.

Таблица 1

Параметры переходных и передаточных функций при скачке Qa

X, м	k, с/м^2	τ_0	T, с
0	0,0268	13,7	0,656
5	0,0250	13,8	0,656
10	0,0156	14,9	1,066

Таблица 2

Параметры переходных и передаточных функций
при скачке математического ожидания угла бросания M_α

X,м	k, кг/м^2	τ_o	T, с
0	0,0188	13,4	1,05
5	0,0384	14,4	1,67
10	0,0572	16,0	1,75

-5	-0,0450	13,9	1,11
-10	-0,0319	15,1	1,72

Таблица 3

Параметры переходных и передаточных функций при скачке σ_α

X, м	k, кг/м^2	τ_o	T, c
0	-0,082	3,18	1,24
10	0,062	6,83	1,79

При скачке математического ожидания угла бросания зона рассева смещается в сторону от линии движения. Это приводит к увеличению дозы при положительных X и к уменьшению её при отрицательных X. Это видно в табл.2, где коэффициент передачи имеет разный знак.

Скачок параметра M_ρ приводит к изменению размеров зоны рассева, но коэффициент передачи в этом случае примерно на порядок меньше, чем при скачке Q, M_α или σ_α. Скачок параметра σ_ρ вызывает слабые переходные процессы, поэтому не рассматривается в данной работе.

Передаточная функция, полученная при этих допущениях, имеет вид:

$$W(p) = \frac{k\ e^{-\tau_o p}}{(Tp+1)^m}\,. \tag{7}$$

Амплитудно-фазовую частотную характеристику системы (рис.5) получали из передаточной функции заменой комплексной переменной *p* на $j\omega$:

$$W(j\omega) = \frac{k\ e^{-\tau_o j\omega}}{(T + j\omega \quad 1)^2}\,. \tag{8}$$

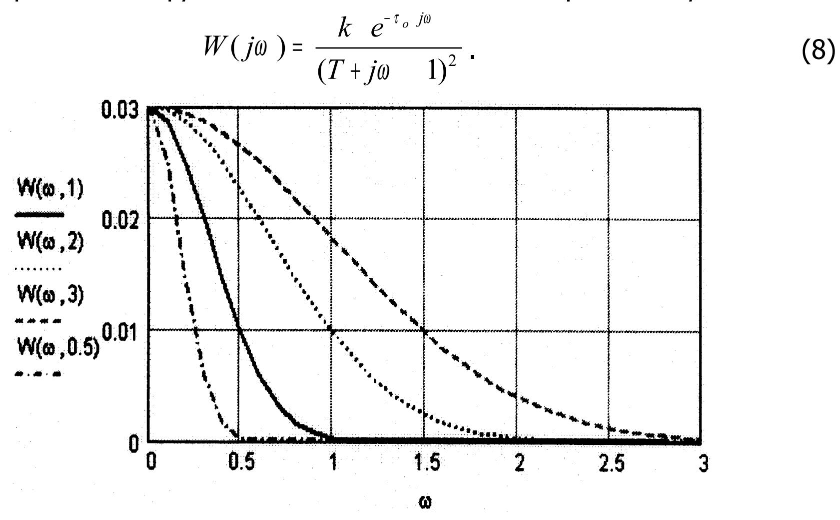


Рис.5. Амплитудно-частотные характеристики аппарата
($V_м$=1; 2; 3; 0,5 м/с)

Амплитудно-частотная характеристика определяет дисперсию дозы и дисперсию урожая в зависимости от дисперсий параметров $M_\alpha, \sigma_\alpha, M_\rho, \sigma_\rho, Q, V_m$ и др.:

$$W(\omega) = \frac{k}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \tag{9}$$

где $A = 1 + T^2 \quad \omega^2$; $B = 2 \quad T \quad \omega$.

Последнее уравнение использовали для построения графиков функции $W(\omega)$ и для обоснования допусков на параметры системы (см.рис.5).

Если колебания одного из параметров имеют гармонический характер с амплитудой A_z и математическим ожиданием M_z, то коэффициент вариации одной гармоники равен

$$v_z = \frac{A_z}{\sqrt{2} \quad M_z} \quad 100 \cdot \tag{10}$$

Аналогично определим коэффициент вариации дозы:

$$v_q = \frac{A_q}{\sqrt{2} \quad M_q} \quad 100 \, . \tag{11}$$

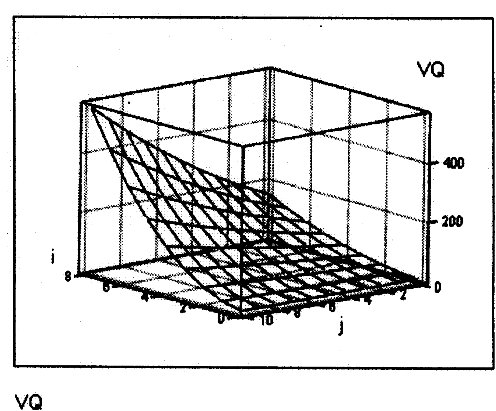
Разделив уравнение (11) на (10), получим:

$$\frac{v_q}{v_z} = \frac{A_q \quad M_z}{A_z \quad M_q} = W(\omega) \quad \frac{M_z}{M_q} \, . \tag{12}$$

Последнее соотношение использовано для обоснования допусков на неравномерность параметров процесса. Предположим, задана допустимая продольная неравномерность дозы $v_q = 10$%. Требуется установить допуск на колебания подачи Q. Кроме того, известно, что

$$M_Q = M_q \quad V_m \quad B_p \quad \text{тогда} \quad v_Q = \frac{v_q}{V_m \quad B_p \quad W(\omega)} \, . \tag{13}$$

График зависимости (13) показан на рис.6.



VQ

Рис.6. Обоснование допуска на колебания подачи
($\omega_i = i; \; T_j = j \cdot 0.05 + 0.5$; k=0.03)

Допуск на колебания подачи может превышать допуск на колебания дозы внесения удобрений в десятки раз, если частота колебаний достаточно высока (см.рис.6). Постоянная времени T заметно влияет на величину допуска только при повышении частоты колебаний.

Выводы. При малой скорости движения машины колебания подачи с $\omega \quad 0,5$ с$^{-1}$ полностью сглаживаются, а при движении со скоростью 3 м/с сглаживаются колебания с $\omega \quad 3$ с$^{-1}$, полоса пропускания увеличивается.

Величина параметра *T* передаточных функций сильно влияет на сглаживающую способность аппарата в области низких частот. На величину параметра *T* влияют продольные размеры сечений зоны рассева. В центре полосы рассева этот размер меньше и параметр *T* меньше.

Скорость движения машины (см.рис.5) является важнейшим параметром амплитудно-частотной характеристики аппарата. С увеличением скорости увеличивается полоса пропускания частот.

Увеличение размеров зоны рассева положительно влияет на способность аппарата фильтровать или сглаживать случайные колебания параметров процесса распределения удобрений по полю.

Библиографический список

1. Черноволов В.А. Моделирование в системе MathCad процесса распределения удобрений горизонтальным центробежным аппаратом / В.А.Черноволов, Т.М. Ужахов // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. Спец. вып. Математическое моделирование и компьютерные технологии. – 2004.– С. 144 – 147.

2. Черноволов В.А. Обоснование параметров центробежного аппарата для распределения минеральных удобрений при реверсивном приводе диска / В.А. Черноволов, В.А. Луханин, Е.В. Поволоцкая // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т.8. - № 4. – С. 426-432.

Материал поступил в редакцию 28.07.08.

V. CHERNOVOLOV, T. UZHAKHOV, T. LYASHENKO

THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE CENTRIFUGAL DEVICE FOR THE SUPERFICIAL ENTERING OF MINERAL FERTILIZERS

The research of dynamic properties of the centrifugal devices for distribution of mineral fertilizers on a field surface adaptably to substantiation of the admissions on fluctuation of the process parameter. The admissions on proportionality of giving of the fertilizers on a distributing device, an average quadratic inclination of an angle of throwing and a range of casting are recommended to set the non-uniformity of distribution of the fertilizers on a field.

The probable model of the system is represented by the consecutive connection of a link of constant retardation and two non-periodic links. The link characteristics are determined by the numeric modeling.

ЧЕРНОВОЛОВ Василий Александрович (р.1938), заведующий кафедрой механизации и растениеводства ФГОУ ВПО АЧГАА, доктор технических наук, профессор. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (1962).

Научные интересы: механизация сельского хозяйства.

Автор более 160 научных публикаций.

УЖАХОВ Тимур Магометович (р.1975), ассистент, кандидат технических наук (2004). Окончил АЧИМСХ (1996).

Область научных интересов – механизация внесения удобрений.

Автор более 10 научных работ.

ЛЯШЕНКО Тамара Михайловна, доцент кафедры механизации растениеводства АЧГАА, кандидат технических наук (1985). Окончила АЧИМСХ (1964).
Сфера научных интересов – механизация внесения удобрений.
Автор более 40 научных работ.

luhanunV.A.@meil.ru